

Juha-Pekka Tähtinen

Moottorin johtosarjamallinnus E³.- suunnitteluohjelmistolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

20.4.2015

Tekijä(t) Otsikko	Juha-Pekka Tähtinen Moottorin johtosarjamallinnus E ³ .-suunnitteluohjelmistolla
Sivumäärä Aika	25 sivua + 1 liite 20.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Vesa Linja-Aho Tuntiopettaja Lauri Eho
<p>Insinöörityössä mallinnettiin E³.series-suunnitteluohjelmistolla BMW E46 M3:een moottorinjohtosarja. Johtosarjaan mallinnettiin Motec M800-moottorinohjainlaite sekä suunniteltiin piirikaaviot ja tehtiin 1:1-naulapöytämallinnus.</p> <p>Työssä esitellään E³.-ohjelmistoa, sen toimintoja sekä asioita, jotka pitää ottaa huomioon ajoneuvon johtosarjasuunnittelussa. Työn tavoitteena oli laatia ohjelmistosta johtosarjan mallinnusohje Metropolia Ammattikorkeakoululle sekä mallintaa johtosarja siten, että se olisi mahdollisimman selvästi toteutettu ja mahdollisesti valmistettavissa.</p> <p>Työ aloitettiin käymällä ohjelmiston peruskoulutus, minkä jälkeen harjoiteltiin johtosarjamallintamista. BMW:n alkuperäisestä moottorinohjainlaitteesta hankittiin kytkentäkaaviot sekä muut tarvittavat tiedot, jotta Motec M800 voitiin mallintaa työhön.</p> <p>Työn tavoitteet saavutettiin osittain. Mallinnusohjeesta olisi voinut tehdä paljon laajemman, mutta ajan puutteen vuoksi se jäi vaillinaiseksi. Lisäksi todelliset johtojen pituudet eivät olleet tiedossa, ja tämän takia niiden mallinnukset eivät vastaa todellista moottorinjohtosarjaa.</p> <p>Suunnitelluista piirikaaviosta saatiin kuitenkin luotua selkeät mallinnukset sekä 1:1-mallin liitingrafiikoista ja taulukkosymboleista onnistuttiin luomaan graafisesti näyttävä moottorinjohtosarja.</p>	
Avainsanat	johtosarjasuunnittelu, E ³ .series

Author(s) Title Number of Pages Date	Juha-Pekka Tähtinen Designing a Wiring Harness for Vehicle Engine with E ³ .Series 25 pages + 1 appendix 20 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-Aho, Senior Lecturer Lauri Eho, Lecturer
<p>In this thesis an engine wiring harness for BMW E46 M3 with E³.series E-CAE tool was modelled. Also a Motec M800 engine control unit for the wiring harness, circuit diagrams of the connections and 1:1 nailboard manufacturing documentation were modelled.</p> <p>This thesis introduces E³. software, the functionality of the software and what has to be considered in designing a wiring harness. The aim of this thesis was to create a modeling tutorial of the wiring harness with E³. software for the Helsinki Metropolia UAS. There was also a requirement that the wiring harness model has to be executed as clearly as possible and there should be an option to manufacture it in the future.</p> <p>The thesis was started by attending a training course of the software basics, and after that wiring harness modelling was practiced. The circuit diagrams and other necessary information of the BMW's original engine control unit was purchased so that it was possible to model Motec M800 in this thesis.</p> <p>The objectives of the thesis were partially achieved. The modeling tutorial could have been much comprehensive but there was a lack of time so the tutorial that was made is a shortened version. Also the segment lengths of the real BMW wiring harness were unknown and there was no information available of the segment lengths so the model does not correspond to the real engine wiring harness.</p> <p>However, the circuit diagrams that were modelled in this thesis were very clear and legible. There was also a good final result of the engine wiring harness 1:1 model's graphical representation including a graphical view of its' connectors and table symbols.</p>	
Keywords	wiring harness design, E ³ .series

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	E ³ .series-suunnitteluohjelmisto	2
2.1	Ohjelmiston kehittäjä	2
2.2	Ohjelmistokoulutus	3
2.3	E ³ .-ohjelmistokokonaisuus	3
2.4	E ³ .series teollisuudessa	4
2.5	Ohjelmiston rakenne ja tiedonsiirto	5
2.5.1	Moduulit	5
2.5.2	Standardiformaatit	8
3	Moottorin johtosarjasuunnittelu	9
3.1	Yleistä tietoa johtosarjasuunnittelusta	9
3.2	Kytkentäkaaviot	10
3.3	Motec M800 -moottorinohjainlaite	11
3.4	Pistokeliittimet, johdot ja johtosuojat	12
4	E ³ .Educational-moduulin yleinen esittely	14
4.1	Käyttöliittymä ja uuden projektin aloitus	15
4.2	Johtosarjan piirikaaviomallinnus	18
4.3	E ³ .Formboard-moduuli ja 1:1-johtosarjamallinnus	19
5	Yhteenveto	21
	Lähteet	22

Liitteet

Liite 1. Moottorinjohtosarjan mallinnusohje E³.-ohjelmistolla

Lyhenteet

CAE	Computer Aided Engineering – Tietokoneavusteinen mallinnus
E-CAE	Electrical Computer Aided Engineering – Sähköisten järjestelmien tietokoneavusteinen mallinnus
CAM	Computer Aided Manufacturing – Tuotannon tietokoneavusteinen hallinta
STEP	STEP – Tiedostoformaatti
MCAD	Mechanical Computer Aided Design – Mekaanisten mallien tietokoneavusteinen mallinnus
ERP	Enterprise Resource Planning – Toiminnanhallintajärjestelmä
PDM	Product Data Management – Tuotteidenhallintajärjestelmä
DXF	DXF – Tiedostoformaatti

1 Johdanto

Tässä insinöörityössä käsitellään E³.series-suunnitteluohjelmistoa ja sillä mallinnettua moottorinjohtosarjaa. Työn tarkoituksena oli mallintaa Metropolia Ammattikorkeakoulun opetusajoneuvon BMW M3 moottorinjohtosarja E³.-ohjelmiston oppilaitosversiolla sekä luoda siitä mallinnusohje kattavin esimerkein. Mallinnusohjetta on tarkoitus hyödyntää autosähkötekniikan koulutusohjelmassa osana kurssia, jolla käsitellään ajoneuvojen johtosarjoja ja niiden suunnittelua.

Tavoitteena oli opetella ohjelmiston käyttäminen johtosarjasuunnittelun osalta sekä luoda havainnollistava johtosarjamallinnus BMW:n S54B32-moottorista. Johtosarjamallinnuksessa tullaan moottorin alkuperäinen moottorinohjainlaite korvaamaan jälkiasennettavalla Motec M800-moottorinohjainlaitteella. Lisäksi tavoitteena oli luoda mallinnus, jossa esitetään tarvittavat komponentit mukaan lukien kutistemuovit ja johtojen merkitämuovit siten, että mallinnuksen mahdollinen toteutus konkreettisesti olisi mahdollisimman yksinkertaista.

Työssä käsitellään E³.-ohjelmiston käyttöliittymää ja mallinnustyökaluja, piirikaaviosuunnittelua, johtosarjamallintamista reaali-koossa sekä komponenttien ja symbolien luontia.

Ohjelmiston perusteet opittiin CCS Groupin järjestämässä koulutuksessa keväällä 2014 Turussa. Ohjelmiston laajuuden vuoksi sen käyttöä harjoiteltiin pitkään ennen johtosarjamallinnuksen aloittamista.

Mallinnuksen aikana ohjelmiston oppilaitosversiota tukemaan hankittiin vielä johtosarjasuunnitteluun tarkoitettu moduuli, joka mahdollistaa graafisesti näyttävämmän ja selkeämmän 1:1-johtosarjamallinnuksen.

2 E³.series-suunnitteluohjelmisto

2.1 Ohjelmiston kehittäjä

CIM-Team Technische Informatik GmbH on vuonna 1987 perustettu saksalainen yritys, josta vuonna 2006 Zuken Inc. osti enemmistön. Nimenvaihdos tapahtui vuonna 2009 ja yrityksestä tuli Zuken E3 GmbH. Vuonna 1976 Japanissa perustettu Zuken suunnittelee ja tuottaa CAE -ohjelmistoja mm. seuraaville aloille:

- elektroniikka
- hydraulikka- ja pneumatiikkasuunnittelu
- kaapelointi
- sähkösuunnittelu.

Suunnittelu- ja dokumentointitarkoituksiin kehitetyt CAE-ohjelmistot ovat tarkoitettu yritysten sähköisen ja elektronisen suunnittelutyön sekä tuotannon optimointiin. Ajo-neuvoteollisuudessa E³-ohjelmistoa käyttäviä yhtiöitä ovat mm. FIAT Group Automobiles ja Piaggio. [1; 2; 3.]

CCS Group, entiseltä nimeltään CIM-Team Skandinavia Oy, on Zuken E3 GmbH:n E³.series-suunnitteluohjelmiston jälleenmyyjä ja samalla ohjelmistotuki Suomessa. Vuodesta 1988 toiminut yritys tarjoaa palvelujaan Skandinaviassa sekä Baltian maihin. Toimipisteitä CCS Groupilla on Turussa ja Jyväskylässä sekä Ruotsissa ja Norjassa. [1; 4.]

CCS Group toimittaa ohjelmistoratkaisuja, jotka tukevat yritysten suunnitteluprosessia. CCS Groupin toimittamia ohjelmistoja ovat mm.

- E³.series -ECAE-ohjelmisto
- GibbsCAM -CAM-ohjelmisto
- SolidWorks -3D-suunnitteluohjelmisto. [7.]

2.2 Ohjelmistokoulutus

CCS Groupin koulutustarjonta E³.series-suunnitteluohjelmistoon on laaja. Lähtökohtana on tehdä juuri asiakkaan tarpeita koskeva koulutus mutta myös yleiskoulutuksia järjestetään. CCS Group järjestää koulutuksia toimipisteissään, online-koulutuksina ja asiakkaidensa luona. [5; 6.]

Tämän insinööriyön yhtenä lähtökohtana oli suorittaa E³.cable-peruskoulutus. Koulutus onnistui maaliskuussa 2014 CCS Groupin Turun-toimipisteessä. Koulutus antoi perustiedot ohjelmiston sähkösuunnittelupuolesta ja siinä syvennyttiin hieman johtosarjasuunnitteluun E³.cable-moduulilla.

2.3 E³.-ohjelmistokokonaisuus

E³.series on ECAE-ohjelmistokokonaisuus, joka on kehitetty erityisesti yrityksille, jotka ovat erikoistuneet laite-, pneumatiikka-, hydraulikka-, automaatio- tai sähkösuunnitteluun. E³.series on suunniteltu Windows®-käyttöjärjestelmälle, ja se toimii seuraavilla käyttöjärjestelmäversioilla:

- Windows Server 2003
- Windows Server 2008
- Windows XP
- Windows Vista
- Windows 7. [7.]

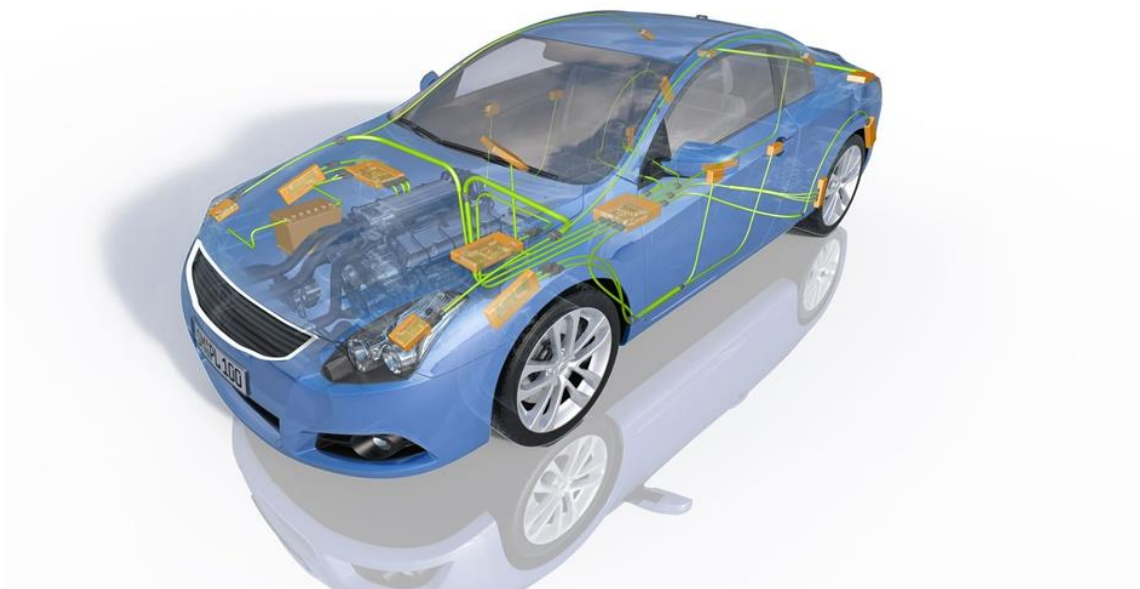
E³.series-suunnitteluohjelmisto toimii lisensoilla. Lisensointi tukee työasemakohtaisia ja verkkolisensoseja. Lisenssi voidaan liittää esimerkiksi palvelimen tai työaseman fyysiseen osoitteeseen tai USB-lisenssilukkoon. [7.]

2.4 E³.series teollisuudessa

Ohjelmistosta on tarjolla valmiita suunnittelupaketteja eri teollisuudenaloille, jotka kattavat mm. valmiit komponenttikirjastot, standardiliitynnät sekä tarvittavat listaukset ja raportit. Pakettiratkaisuja löytyy mm. seuraaville teollisuudenaloille:

- Automaatioteollisuus
- Kuljetusteollisuus
- Sota- ja ilmailuteollisuus
- Rautatieollisuus
- Meri- ja telakkateollisuus
- Sähköjakelu ja -ohjaus sekä
- Keskus- ja kotelonvalmistusteollisuus.

Zuken on saanut olla mm. autoteollisuuden kehityksen eturivissä jo vuosia ja näin ollen se on päässyt, yhdessä ajoneuvovalmistajien kanssa, kehittämään ohjelmistojaan entistä paremmaksi autoteollisuuden tarpeisiin. [8; 9]



Kuva 1. Ajoneuvon johtosarjat ja ohjainlaitteet 3D-mallina [10].

2.5 Ohjelmiston rakenne ja tiedonsiirto

2.5.1 Moduulit

E³.series on modulaarinen E-CAE-ohjelmisto eli se koostuu useista eri moduuleista. [11.] Käyttäjä voi näin ollen hankkia moduuleita vastaamaan juuri omia tarpeitaan. Standardimoduuleita voidaan kehittää entisestään, jotta saavutetaan entistä tehokkaampi ja virheettömämpi dokumentaatio. [12.] Moduulit tarvitsevat lisenssejä toimiakseen.

E³. koostuu viidestä päämoduulista:

- E³.Schematic
- E³.Cable
- E³.Panel
- E³.ViewerFamily (E³.viewer, E³.viewer+, E³.redliner)
- E³.Formboard [11].

Lisäksi E³. tarjoaa lisämoduuleita (Add On Modules), joista osa on päämoduulien integraatiota, ja osa pystyy toimimaan itsenäisinä moduuleinaan. Lisämoduuleilla saavutetaan vielä pidemmälle viety automatisointi mallinnustyöhön ja dokumentaatioihin. Teollisuuden tarjolla olevia lisämoduuleita ovat mm.

- E³.Fluid
- E³.Logic
- E³.FunctionalDesign
- E³.3DRoutingBridge
- E³.HarnessFlattening
- E³.Topology
- E³.eCheck
- E³.RevisionManagement
- List Builder

- ERP Intergration. [11.]

Zuken tarjoaa myös oppilaitoskäyttöön oman moduulinsa. E³.Educational-moduuli kattaa Metropolia Ammattikorkeakoululla päämoduulit E³.Schematicin, E³.Cablein sekä E³.Panelin. Tämän insinööriyön edetessä ohjelmisto päivitettiin uusimpaan versioon ja hankittiin E³.Formboard, jotta johtosarjoista saataisiin suunniteltua 1:1-mallit.

E³.Educational-moduuliin vaadittavan lisenssin voi hankkia yhdelle käyttäjälle tai 50 käyttäjän kattavan campus-lisenssin. [13.] Oppilaitoslisenssiä ei voi käyttää kaupallisiin tarkoituksiin, ja tämä on lukittu mm. toiminnolla, joka vaikuttaa dokumenttien tallentamiseen. Tallennetut dokumentit voidaan avata uudelleen vain oppilaitosversiolla.

Taulukossa 1 esitellään E³.-ohjelmiston moduulitarjontaa ja selvennetään hieman moduulien ominaisuuksia.

Taulukko 1. E³.series-suunnitteluohjelmiston moduulit

Moduuli	Ominaisuudet
E ³ .Schematic	E ³ .Schematic on mm. piirikaavioiden, kytkentälistauksien ja johtoluetteloiden suunnitteluun tarkoitettu objektikeskeinen moduuli, jota käytetään mm. seuraavilla toimialoilla: automaatio, energia, keskus- ja kotelonvalmistus sekä tehdassuunnittelu [14].
E ³ .Cable	E ³ .Cable on johtosarjojen, kaapeleiden ja johdotusten suunnitteluun tarkoitettu objektikeskeinen moduuli. Se on myös E ³ .-ohjelmiston kattavin moduuli. E ³ .Cable sisältää E ³ .Schematic:n toiminallisuudet ja se on käytössä mm. seuraavilla toimialoilla: auto- ja kuljetusteollisuus, meri- ja telakkateollisuus, kone- ja laitevalmistuksessa sekä ilmailuteollisuudessa. [15.]
E ³ .Panel	E ³ .Panel on keskusten ja koteloiden suunnitteluun ja johdotuksiin tarkoitettu moduuli, joka helpottaa laitteiden sijoittelua mm. ohjauspöydissä, asennuslevyissä sekä keskuksissa. E ³ .Panel:lla on mahdollista tarkastella mallinnuksen lopputulosta myös 3D-muodossa. Tästä Layout-suunnittelusta voidaan viedä mallinnus 3D-järjestelmään suoraan STEP-tiedostona. E ³ .Panel tarvitsee toimiakseen E ³ .Schematic- tai E ³ .Cable-moduulin. [16.]
E ³ .Viewer	E ³ .Viewer on ohjelmiston ilmaisversio, joka mahdollistaa E ³ .-suunnitelmien ja dokumenttien tarkastelun sekä tulostamisen ilman lisenssiä. E ³ .Viewer:ltä puuttuu editointioikeus [17].
E ³ .Viewer+	E ³ .Viewer+ sisältää E ³ .Viewer:n toiminallisuuksien lisäksi kielikan-tojen ja eri tasojen tarkastelun [17].
E ³ .Redliner	E ³ .Redliner on suunniteltu dokumenttien punakynämerkintään ja kommentointiin. Moduulilta puuttuu editointioikeudet ja se vastaa

	pitkälti ominaisuuksiltaan E ³ .view:tä. Moduuli on tarkoitettu henkilöstölle, joka vastaa valmistuksesta ja käyttöönnotosta, mutta eivät halua tai voi käyttää varsinaista suunnitteluohjelmaa. [17.]
E ³ .Formboard	E ³ .Formboard-moduuli avaa lisätyökalut johtosarjasuunnitteluun sekä mahdollistaa johtosarjojen 1:1-esitysmuodon eli "naulapöytämallinnuksen". Tämä moduuli tarvitsee toimiakseen E ³ .Cable-moduulin. [18.]
E ³ .Fluid	E ³ .Fluid on E ³ .Schematic-moduulin yksinkertaistettu versio, jolla pystyy luomaan hydraulikka-, pneumatiikka- ja prosessikaavioita sekä dokumentaatiota [19].
E ³ .Logic	E ³ .Logic on elektroniikkakaavioiden mm. piirilevyjen suunnitteluun ja dokumentointiin tarkoitettu moduuli [20].
E ³ .FunctionalDesign	E ³ .FunctionalDesign on tarkoitettu erityisesti johtosarjasuunnitteluun, jossa käytetään funktionaalisia objekteja. Tieto välittyy automaattisesti objektien välillä aina projektin alusta loppuun. Moduuli tarvitsee E ³ .cable-moduulin toimiakseen. [21.]
E ³ .RoutingBridge	E ³ .RoutingBridge mahdollistaa integraation E ³ .series- ohjelmiston ja suurimpien markkinoilla olevien MCAD-ohjelmistojen välillä. Näitä MCAD-ohjelmistoja ovat mm. Dassault Systèmes CATIA V5 ja Dassault Systèmes SolidWorks 3D CAD. Moduuli voidaan liittää tukemaan johtosarjasuunnittelua yhdessä moduulien E ³ .Cable, E ³ .Formboard, E ³ .Topology ja E ³ .HarnessFlattening kanssa. [22.]
E ³ .HarnessFlattening	E ³ .HarnessFlattening-moduulilla voidaan tuoda MCAD-ohjelmistolla suunniteltu johtosarjamallinnus E ³ .-ohjelmistoon. Moduuli tukee mm. Dassault Systèmes CATIA V5 MCAD-ohjelmistoa ja toimii yhdessä E ³ .Cable- ja E ³ .RoutingBridge-moduulin kanssa. [23.]
E ³ .Topology	E ³ .Topology on tarkoitettu johtosarjasuunnitteluun ja se helpottaa komponenttien sijoittamista mittakaavassa olevaan kohdejärjestelmään. Moduuli on E ³ .Cable:n integraatio [24].
E ³ .eCheck	E ³ .eCheck-moduulilla pystytään reaaliaikaisesti tarkistamaan kaaviot ja mallinnukset oikeiden mitoitusten osalta. Sillä voidaan mm. varmistaa DC-testaukset, sulakemitoitukset ja jännitehäviöanalyysit. Moduuli on tarkoitettu erityisesti ajoneuvoteollisuuteen, ilmailuun ja kone- sekä laitevalmistukseen. Moduuli toimii kaikkien muiden moduulien kanssa. [25.]
E ³ .RevisionManagement	E ³ .RevisionManagement-moduuli on tarkoitettu projektihallintaan, jolla voidaan tarkastella ja vertailla muutoksia eri projektien välillä joilla on sama alkuperäinen projekti. Moduuli toimii kaikkien muiden moduulien kanssa. [26.]
List Builder	List Builder tarjoaa vaihtoehdon entistä nopeampaan ja vaivattomampaan listauksien tekoon. Nämä listaukset sisältävät vain sen informaation minkä käyttäjä haluaa listauksissa näkyvän. [27.]

ERP Integration	Yrityksillä on usein käytössä ERP/PDM-järjestelmä, joka on kytetty muihin liiketoiminnan järjestelmiin. Näillä järjestelmillä hallinoidaan liiketoimintaa ja E ³ -ohjelmisto voidaan liittää näihin modulaarisella E ³ .ZPA:lla (Zuken PDM Adapter). E ³ .ZPA koostuu kolmesta moduulista, jotka ovat ZPA/MM, ZPA/BOM ja ZPA/DMS. Näillä moduuleilla käyttäjä voi liittää E ³ ..n nimikehallinnan, materiaaliluettelot ja dokumenttihakinnan osaksi muuta järjestelmäänsä. [28; 29.]
-----------------	--

2.5.2 Standardiformaatit

E³.series tukee myös suuren määrän markkinoiden vaatimia tiedostoformaatteja. Suunnittelutyössä joudutaan usein yhdistelemään uutta ja vanhaa dokumentaatiota sekä lähettämään sähköisesti eteenpäin tietoa. Tästä syystä E³. pystyy lukemaan ja kirjoittamaan useimpia eri tiedostoformaatteja, jotka on luetteloitu taulukossa 2. [28.]

Taulukko 2. E³.series-ohjelmiston tukemat tiedostoformaatit [28].

Import	Export
Caprio Drawnin File (.DFC)	Part File (.e3p)
Part File (.e3p)	DXF/DWG
DFX/DWG	E-PLAN (.EXF)
Image	PDF
DGN	VRML
Schematic	STEP
DDS-C Schematic	DGN
Promis	WebView
Drawing File (.e3d)	Image
E-PLAN (.EXF)	
VarCAD File	
Caddy	
ELCAD	
Redlining Information	

3 Moottorin johtosarjasuunnittelu

3.1 Yleistä tietoa johtosarjasuunnittelusta

Johtosarjaksi kutsutaan virtapiirien eri osien johdoista koostuvaa yhtä johtonippua. Johtonipusta, jota kutsutaan pääsarjaksi, haaroitetaan sopivissa kohdissa valittujen virtapiirien johtimet omiksi sarjoikseen. [30, s. 256.]

Johtosarjan tehtävänä on kuljettaa virtaa ja signaaleja ajoneuvossa. Viime vuosina ajoneuvojen kytkentäpisteiden määrä on miltei tuplaantunut erilaisten toimintojen lisääntyessä niissä. Nykyään tavallisessa keskiluokan autossa, jossa on normaali varustelutaso, on suunnilleen 750 eri johtoa, joiden kokonaispituus kasvaa noin 1500 metriin. Johtosarjalla on myös merkittävä vaikutus ajoneuvon valmistuskustannuksiin sekä laatuun. Kun johtosarjaa lähdetään suunnittelemaan, täytyy siinä ottaa huomioon seuraavat seikat:

- johtosarjan tiiviys
- EMC -yhteensopivuus
- lämpötilat
- johtojen reititys
- johtojen suojaaminen
- ilmanvaihto.

Näiden lisäksi johtosarjasuunnittelijan tärkeimmät tehtävät ovat

- materiaalien valitseminen
- pistokeliittimien valitseminen
- johtimien reitityksissä vallitsevien olosuhteiden huomioiminen
- johtojen poikkipinta-alojen määrittäminen
- johtosarjan kokoonpanojärjestyksen huomioiminen. [31, s. 394.]

3.2 KytKentäkaaviot

KytKentäkaaviot ovat sähkölaitteita esittävien symbolien ideaalinen esitysmuoto. KytKentäkaaviot havainnollistavat eri laitteiden välisiä yhteyksiä ja kuvaavat kuinka laitteet ovat kytketty toisiinsa. KytKentäkaavion tulee olla selkeä, looginen ja luettavissa oleva esitys kytkennän toiminnasta. Kaavioita voidaan myös täydentää taulukoilla, grafiikalla ja selitysteksteillä.

Lukukelpoisen kytKentäkaavion tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Kaavioesityksen on vastattava asiaankuuluvia standardeja (EN 61346-2 ja DIN 72552).
- Sähkövirtojen suunnat esitetään vasemmalta oikealle ja/tai ylhäältä alas. [37, s. 508, 510.]

Tätä työtä varten etsittiin kytKentäkaaviot BMW:n alkuperäiseen moottorinohjainlaitteeseen. Niiden avulla pystyttiin selvittämään, kuinka anturit ja muut ohjainlaitteet ovat kytkettyneet MSS54HP-moottorinohjainlaitteeseen. Näitä tietoja tarvittiin, koska haluttiin luoda todellisuutta vastaavat kytkennät ja signaalit moottorin johtosarjamallinnukseen. KytKentäkaaviot löytyivät WDS (Wiring Diagram System) palvelusta, joka on julkaistu ilmaiseksi internetissä sekä Autodata-ohjelmistosta.

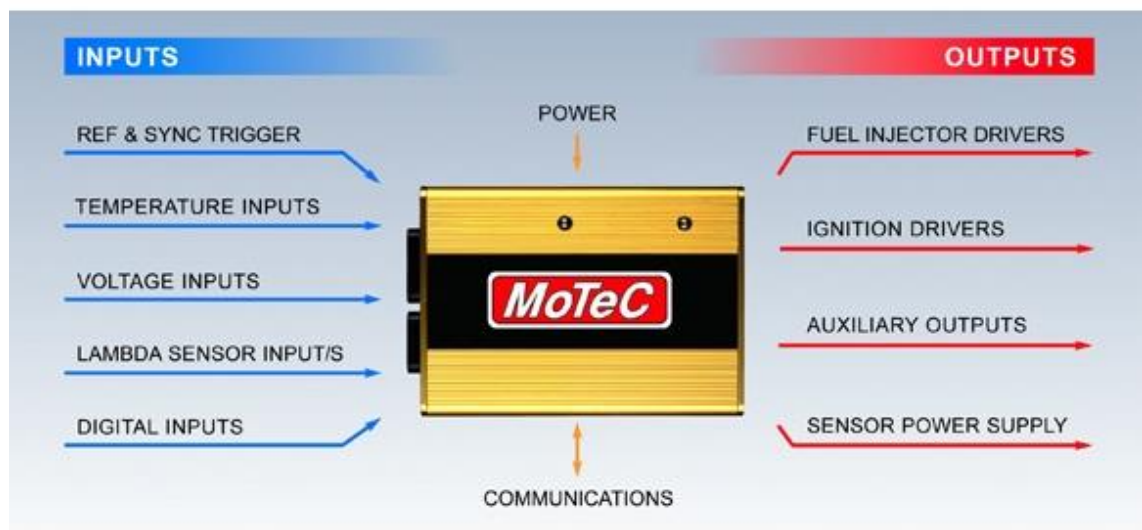
WDS:n kytKentäkaaviosta selvisi alkuperäisten johtimien poikkipinta-alat, jota Autodata ei näyttänyt. Molempien ohjelmien kaavioita vertailtiin johtojen värien suhteen ja ne täsmäsivät. Excel-tilukkolaskenta ohjelmaan luotiin WDS:n tarjoaman moottorinohjainlaitteen pinnilistan mukaan taulukko, johon listattiin pinnien signaalien toiminallisuus, johtojen värit ja niiden poikkipinta-alat.

KytKentäkaavioiden lisäksi johtosarjamallinnuksessa käytettiin kytkennöissä apuna Metropolia Ammattikorkeakoululle tehtyä opinnäytetyötä, jossa samaan oppilaitoksen BMW:hen oli tehty moottorin adapterijohtosarja Motec M880-moottorinohjausyksikölle. [31.] Motec M880 eroaa pinnilukumäärältään ja liittimiltään Motec M800-moottorinohjainlaitteesta. Motec M880:n pinnien kääntötaulukolla saatiin luetteloitua M800:n pinnit samaan Excel-tilukkoon yhdessä alkuperäisen moottorinohjainlaitteen pinni-, johto- ja signaalitietojen kanssa. [32.] Taulukosta pystyttiin tämän jälkeen selkeästi näkemään alkuperäisen moottorinohjainlaitteen pinnit ja signaalireferenssit Motec M800 -ohjainlaitteeseen.

3.3 Motec M800 -moottorinohjainlaite

Motec M800 on jälkiasennettava ja täysin uudelleen ohjelmoitavissa oleva moottorinohjainlaite, joka sopii vaativaankin käyttöön kuten moottoriurheiluun. Sillä kyetään ohjaamaan nykyaikaisia moottoreita, joissa voi olla mm. sähköinen kaasuläppä (Drive by Wire), muuttuvat nokka-akselien ajoitukset, luiston esto, anti-lag -toiminto ja telemetrian keruujärjestelmä. [33.] Ohjainlaitteella pystytään kontrolloimaan pienin edellytyksin jopa 12-sylinterisiä moottoreita, ja se soveltuu myös kiertomäntämoottoreille [34].

Motec-moottorinohjainlaitteissa on useita sisään- ja ulostuloliitäntöjä. Näiden lisäksi ohjainlaitteissa on tiedonsiirtoliitännät, sekä jokaisen ohjainlaitteen tarvitsemat normaalit käyttöjännite- ja maadoitusliitännät. Kuvassa 2. on esitetty ohjainlaitelähtöjen kulkuunnot. Motec M800:n sisään- ja ulostuloliitännät sekä tiedonsiirtoliitännät ovat esitetty taulukossa 3.



Kuva 2. Motec-moottorinohjainlaitteen liitännät [35].

Taulukko 3. Motec M800 -moottorinohjainlaitteen liitännät [34].

Sisääntulot	Ulostulot	Tiedonsiirto
6 x analoginen lämpötilasignaali	8 x suutinohjausulostulo	1 x CAN-väyläliitäntä
8 x analoginen jännitesignaali	6 x sytytysohjausulostulo	1 x RS232-liitäntä
2 x laajakaista Lambda-signaali	8 x lisälaiteohjausulostulo	
4 x digitaalinen signaali/ nopeussignaali		

3.4 Pistokeliittimet, johdot ja johtosuojat

Johtosarjamallinnukseen valittiin alkuperäisten pistokeliittimien tilalle TE Connectivity Deutschin valmistamat DTM-sarjan pistokeliittimet (kuva 3). Valintaan vaikutti se, että E³-ohjelmiston komponenttitietokannassa oli valmiiksi mallinnettu osa DTM-sarjan liittimistä. Lisäksi DTM-sarja on erittäin kestäväksi ja laadukkaaksi todettu liittinsarja, joka täyttää kansainvälisen moottoriurheilun standardit [36]. Ohjelmiston tietokannassa valmiina olleita pistokeliitinkomponentteja jouduttiin kuitenkin työn aikana muokkaamaan, koska esimerkiksi johtojen kytkentäpisteet olivat osassa liittimistä mallinnettu liittimen väärälle puolelle.



Kuva 3. DTM-sarjan pistokeliittimiä [36].

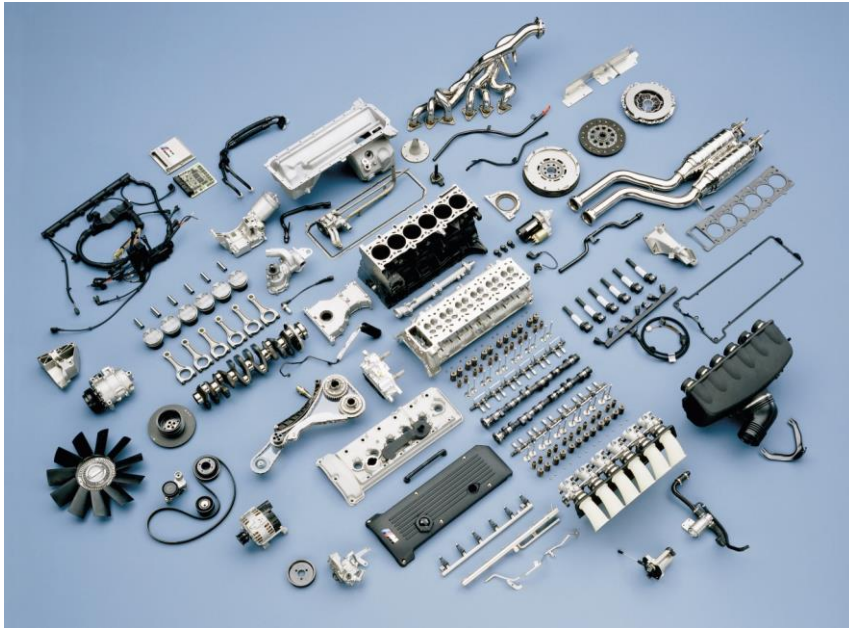
Johtosarjojen johtimien poikkipinta-alat valitaan siten, että ne pysyvät hyväksyttävien jännitehäviöiden rajoissa. Johtimen vetolujuudeksi asetetun rajan perusteella johtosarjaan määritellään poikkipinta-alaltaan pienin johto. Käytäntö kuitenkin on johtosarjavalmistuksessa, ettei alle $0,5\text{mm}^2$:n johtimia käytetä. Tapauksissa, joissa johto on suojattu hyvin esimerkiksi suojasukalla tai johtoputkella sekä johtimiin on tehty asianmukainen vedonpoisto, on mahdollista käyttää jopa $0,35\text{mm}^2$:n johtimia. [37, s. 395.]

Johdoissa käytetään yleensä kuparia johdinmateriaalina ja johdineristeet ovat määritetty niiden lämmönkestävyyden mukaan. Eristeenä on käytettävä materiaaleja, jotka kestävät korkeita lämpötiloja jatkuvassa käytössä. Lisäksi ympäristön lämpötilan ja kuumentumisen vaikutus johtimessa kulkevaan virtaan on huomioitava. Johdinten eristemateriaaleja ovat kestumuovit (PE, PA ja PVC), fluoromuovit (ETFE, FEP) ja elastomeerit (CSM, SIR). [37, s. 395.]

Johtosuojat suojaavat johtosarjaa hankaumilta, teräviltä reunoilta ja kuumilta pinnoilta. Tähän tarkoitukseen on olemassa erilaisia teippejä, kutistemuoveja ja suojaputkia. [37, s. 395; 38.]

BMW:n johtosarja haluttiin mallintaa tähän työhön johtimilla, jotka vastaavat alkuperäisten johtojen ominaisuuksia. Tällöin ei todennäköisesti tulisi ylimitoittamista ja voitaisiin käyttää ohjelmiston tietokannassa olevia valmiita johtoryhmiä pienin muokkauksin. Tietokannassa on valmiiksi luotu LEONIn johtoryhmiä, joista valittiin FLRY-A. Se on ohutseinämäinen, PCV-eristeinen, lämpöä ja kemikaaleja kestävä johtoryhmä, joka on suunniteltu autoteollisuuteen. Lisäksi tämä ryhmä vastaa suoraan BMW:n johtojen standardeja. [39.] Johtosarjamallinnukseen muutettiin kuitenkin alkuperäiset johtimet, joiden poikkipinta-ala oli $0,35\text{mm}^2$, paksumpaan $0,5\text{mm}^2$:n johtimeen. Tämä tehtiin varotoimenpiteenä, jos johtosarja joskus valmistettaisiin.

Johtosarjan suojaamiseen sekä johtojen merkitsemiseen valittiin kutistemuoveja, joita käytetään moottoriurheiluun rakennetuissa johtosarjoissa [38.]. Näitä kutistemuoveja ovat mm. TE Connectivityn ATUM ja DR-25. Kutistemuoveja mallinnettiin useita eri kokoja, koska pääkaapeli joudutaan suojaamaan paljon isommalla kutistemuovilla kuin esimerkiksi kaksi johtoa sisältävä anturihaaroitus. Kuvassa 4 näkyy BMW:n S54B32-moottori purettuna. Kuvassa on esitettyä myös alkuperäinen moottorinjohtosarja suojineen ja moottorinohjainlaite MSS54HP.



Kuva 4. S54B32-moottorin osat sekä alkuperäinen johtosarja [40].

4 E³.Educational-moduulin yleinen esittely

Ohjelman uusin päivitysversion on asennettu oppilaitoksen IT-tuen (HelpDesk) toimesta automaatiolaboratorion päätteille siten, että sen voi käynnistää suoraan Windowsin työpöydältä. Tämä takaa oikean moduulin käynnistymisen sekä toimivuuden. Työn edetessä asennuksissa havaittiin ongelmia, jotka johtuivat uudesta E³.-ohjelmistopäivityksestä sekä laboratorion päätteiden verkosta poiskytkemisestä.

E³.Educational sisältää Metropolia Ammattikorkeakoululla E³.Schematic-, E³.Cable- ja E³.Panel-moduulien toiminnallisuudet. Lisäksi tämän työn aikana E³.Educational-moduulin rinnalle hankittiin E³.Formboard-moduuli tukemaan johtosarjasuunnittelua, jolla pystytään esittämään 1:1-malli johtosarjasta.

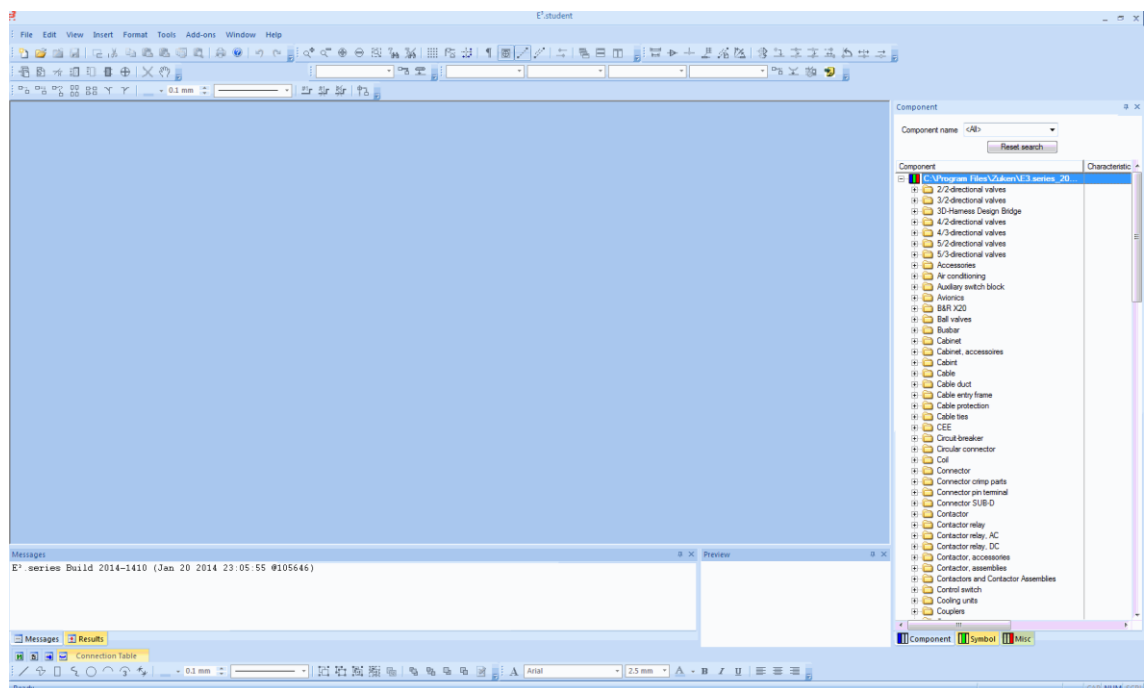
Jotta johtosarjamallinnuksesta kyseisellä ohjelmistolla saisi asiaan perehtymätön jonkinlaisen käsityksen, päätettiin itse BMW:n moottorinjohtosarjan mallinnuksessa käytetyt menetelmät, ohjelmiston työkalut ja luodut komponentit selventää omana liitteenään tässä työssä (liite 1). Tämä liite toimii ajoneuvon johtosarjasuunnittelun osalta ohjeena niille käyttäjille Metropolia Ammattikorkeakoulussa, jotka työskentelevät ensimmäistä kertaa E³.-ohjelmiston parissa.

Tässä luvussa tarkastellaan pintapuolisesti E³.Educational- ja E³.-Formboard-moduulia. Luvussa selvennetään käyttöliittymää sekä kerrotaan, kuinka uusi projekti aloitetaan. Projektit ovat tärkeässä roolissa, koska kaikki suunnittelutyö tapahtuu saman projektin alla.

E³.Educational-moduulin yleisen esittelyn ja moottorinjohtosarjan mallinnusohjelmiston kirjallisena lähteenä ja perustana käytettiin ohjelmistokoulutuksen materiaaleja [1], ohjelmiston ohjevalikkoa sekä johtosarjamallinnuksen aikana opittuja asioita.

4.1 Käyttöliittymä ja uuden projektin aloitus

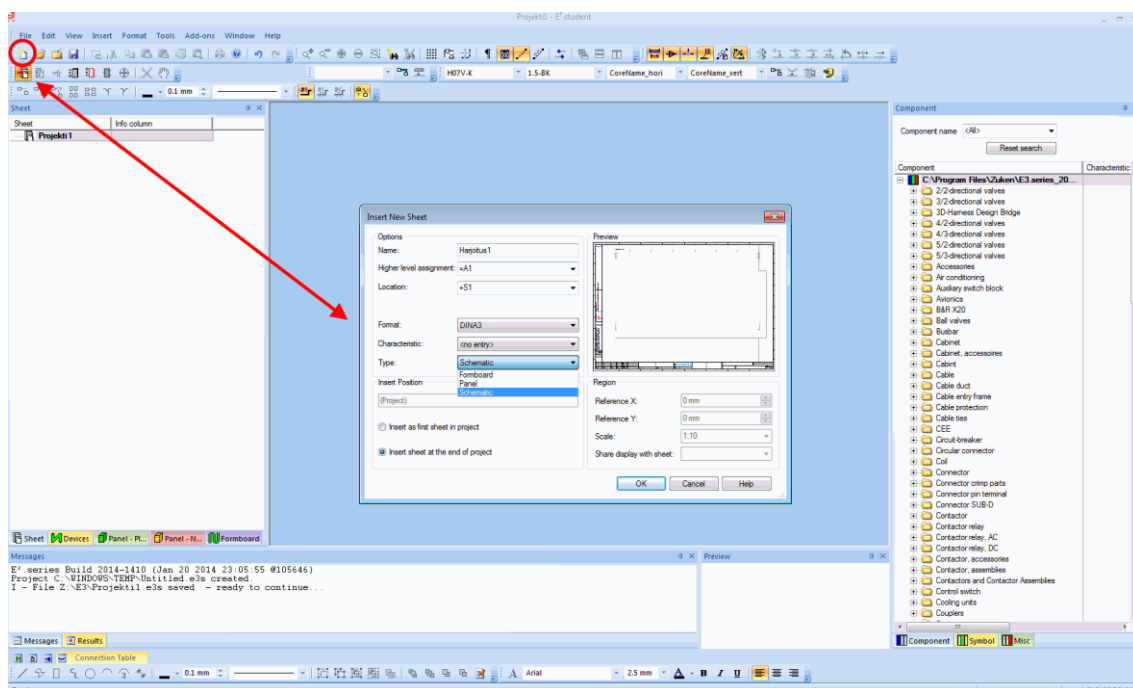
E³.series on Windows-pohjainen ja objektikeskeinen ohjelmistokokonaisuus. Käyttöliittymä on muihin Windows-ohjelmistoihin verraten myös helposti omaksuttavissa. Kuvassa 5 ohjelmisto on avattu ja sen käyttöliittymää muokattu raahaamalla komponentti-ikkuna (Component), esikatselu-ikkuna (Preview) ja viesti-ikkuna (Message) työskentelyalueen reunoille käyttäen docking-ominaisuutta, joka automatisoi ikkunoiden siirtelyn. Käyttöliittymän yläpalkista havaitaan käytössä oleva moduuli (E³.student), joka viestii E³.Educational-moduulin olevan käytössä. Muutoin käyttöliittymä ei eroa täysversiosta.



Kuva 5. E³-ohjelmiston käyttöliittymä

Uusi projekti aloitetaan painamalla kuvassa 6 ympyröitynä olevaa ”Create New Project” -painiketta tai päävalikosta ”File”. Tämä toiminto luo projekti-ikkunan ruudun vasemman reunaan ja samalla avaa osan työkalupalkkien toiminnallisuuksista.

Projektiin lisätään seuraavaksi lehti eli sivu, johon mallinnus toteutetaan. Sivua saadaan lisättyä kuvassa 6 nuolen osoittamasta ”Insert New Sheet” -painikkeesta tai päävalikosta ”Insert”. Toiminto avaa dialogin, jossa lehdelle annetaan nimi, ylemmän tason määritelmä ja sijaintitieto. Ylemmän tason määritelmä ja sijaintitieto liittyvät tunnusjärjestelmään, joka identifioi laitteen yksiselitteisesti. Tämän jälkeen valitaan lehtiformaatti eli symboli, joka kuvastaa lehtipohjaa. Tässä tapauksessa lehtipohja on DINA3, joka vastaa A3-arkkia. ”Type”-valikosta valitaan moduuli, jota lehti käyttää. Valitaan moduuliksi Schematic, koska mallinnus aloitetaan piirikaaviosuunnittelulla. Lopuksi tehdään valinta, mihin kohtaan projektia ko. lehti sijoitetaan. Tässä tapauksessa on vasta yksi lehti, mutta valitaan se sijoitettavaksi viimeiseksi projektissa. Dialogi päätetään painamalla ”OK”.



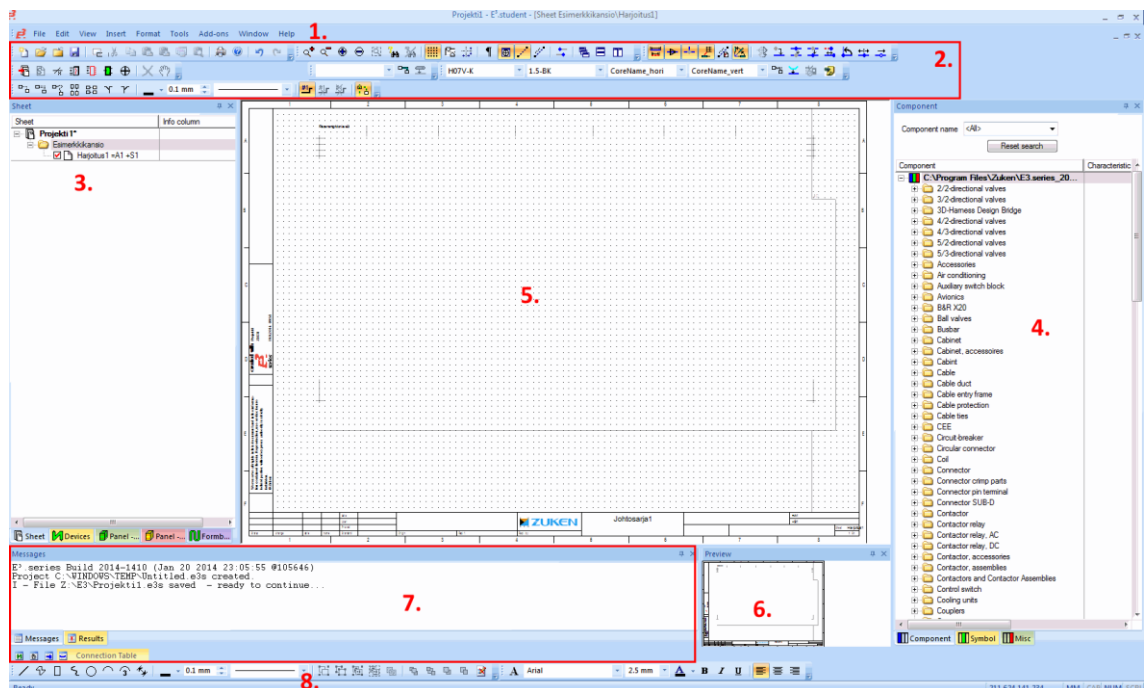
Kuva 6. Uuden projektin aloitus ja lehden lisääminen projektiin

Kuvassa 7 lehti on sijoittunut työskentelyalueelle (5.). Ohjelmiston päävalikko löytyy käyttöliittymän vasemmasta yläreunasta (1.), ja sen alapuolella ovat projektin yleistyökalupalkit, moduulikohtaiset työkalupalkit sekä kytkentä-, johto- ja johtosuojatyökalupalkki (2.). Projekti-ikkuna (3.) on sijoitettu vasempaan reunaan ja sieltä löytyvät myös

välilehdet mm. lehdille (Sheet), laitteille (Devices) sekä Formboardiin sijoitetuille laitteille (Formboard). Käyttöliittymän oikeaan reunaan on sijoitettu tietokanta-ikkuna (4.), josta projektiin sijoitetaan komponentti.

Kun komponentti raahataan komponentti-ikkunasta lehdelle tai suoraan sijoittamattomana projekti-ikkunan laitevälilehdelle, niin komponentista tulee laite, ja se saa laite-tunnuksen. Komponentti-välilehden komponentit muodostavat komponenttikirjaston. Tietokanta-ikkunasta löytyvät lisäksi välilehdet symboleille (Symbol) ja sekalaisille symboleille (Misc). Nämä symboli-välilehdet muodostavat symbolikirjastot tietokantaan.

Esikatselu-ikkuna (Preview, 6.) on sijoitettu kuvassa 4 komponentti-ikkunan viereen ja sen vasemmalle puolella on punaisella rajattu alue (7.), josta löytyvät viesti- (Message) ja tulos-ikkunat (Result). Näiden ikkunoiden alta käyttäjä saa näkyviin myös erilaiset projektitaulukot, joista selviää mm. projektissa olevat kytkennät, pinnit ja laitteet. Alim-pana käyttöliittymässä on sijoitettuna grafiikka- ja tekstityökalut (8.).



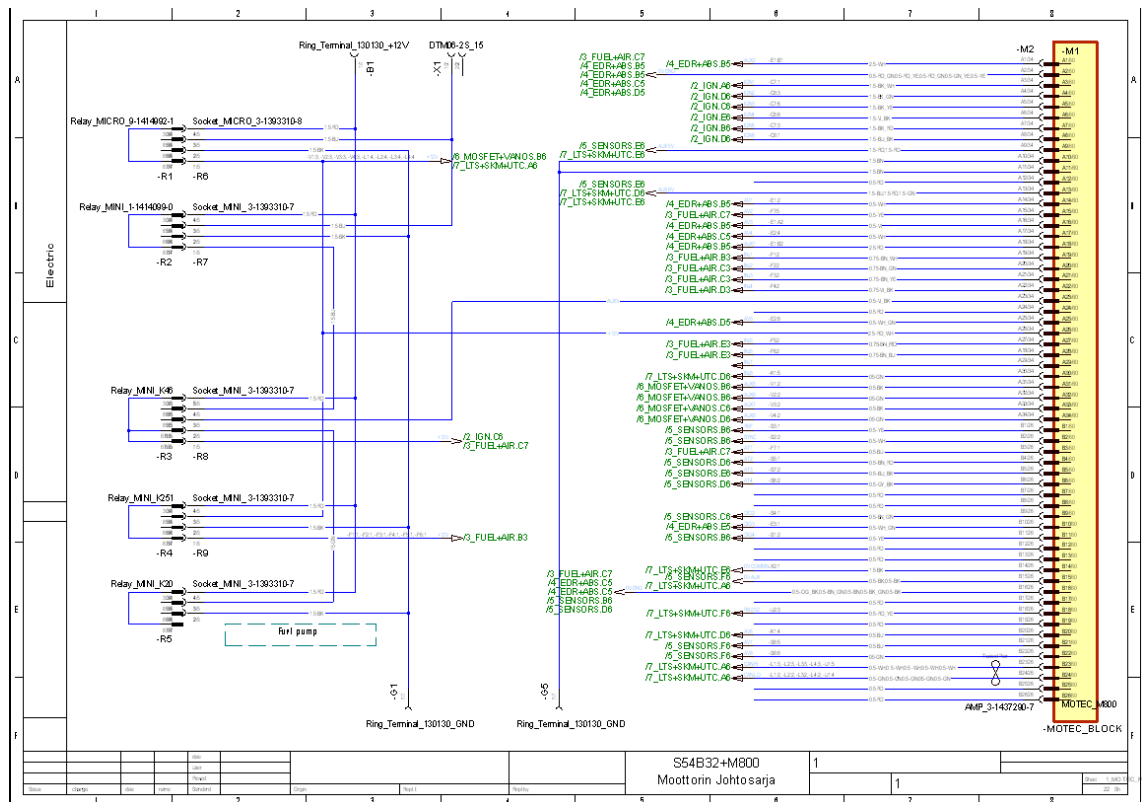
Kuva 7. Käyttöliittymän valikot, työkalut, ikkunat ja taulut

4.2 Johtosarjan piirikaaviomallinnus

Piirikaaviomallinnusten kytkennöissä käytettiin apuna opinnäytetyötä ”Adapterijohtosarjan rakentaminen Motec-moottorinohjainlaitteen asennusta varten”. Opinnäytetyössä Motec M880 -ohjainlaitteelle tehdään adapterijohtosarja, joka liitetään BMW:n alkupe-
räisen moottorinohjainlaitteen paikalle. Ajoneuvo saadaan kyseisellä adapterijohtosarjalla ja Motecin säädöillä toimimaan tyhjäkäynnillä moitteettomasti. Auton moottorin toiminnasta voidaan todeta kytkentöjen olevan oikeat. [31.]

Tähän opinnäytetyöhön mallinnettiin alkuperäisen BMW:n moottorinohjainlaitteen MSS54HP:n tilalle Motecin M800-moottorinohjainlaite. Motec M800:ssa on TE Connectivityn valmistama yksi naaraspuoleinen kaksoisliitin, jossa on 60 kappaletta urospuoleisia kontakteja eli pinnejä. Tähän kaksoisliittimeen liitetään kaksi urospuoleista TE Connectivityn valmistamaa liitintä, joissa toisessa on 34 ja toisessa 26 naaraspuoleista pinniä. Kuvassa 5 on mallinnettu piirikaavio Motec M800 -kytkennästä moottorinjohtosarjaan sekä BMW:n moottorin relekytkentöihin. Lehtipohjana käytettiin Zukenin tietokannassa olevaa DINA3-lehtisymbolia, jota muokattiin yksinkertaisemmaksi, jotta piirikaaviosta tulisi selkeämpi.

Motec M800 on kuvattu Block-symbolilla kuvan 8 oikeassa laidassa. Block-symboleilla voidaan esimerkiksi esittää mallinnuksessa laitteita, joiden sisäisistä kytkennöistä ei olla niin kiinnostuneita. Ylhäältä alaspäin katsottuna Motecin ensimmäiset 34 pinniä edustavat A-liitintä ja seuraavat 26 pinniä B-liitintä. Vihreällä tekstillä näkyvät ”osoitteet” ovat ristiviittaussymboleilla luotuja, ja näillä symboleilla pystytään, valinnasta riippuen, kuljettamaan automaattisesti tai manuaalisesti signaalitietoja lehtien välillä.



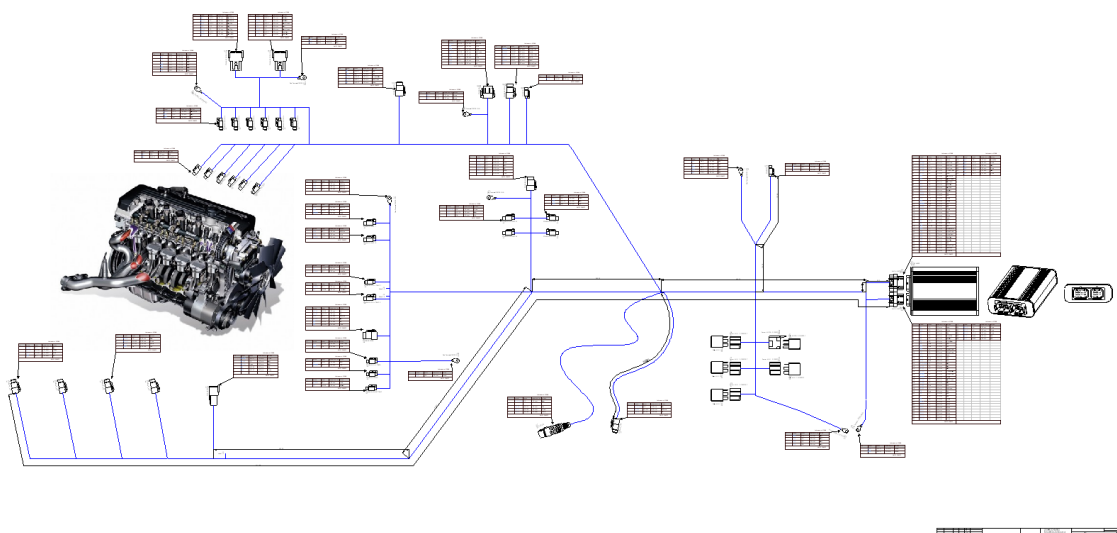
Kuva 8. Piirikaavio, jossa on Motec M800 -moottorinohjainlaite ja moottorin relekytkentä.

Laitteiden väliset kytkennät luotiin ensin kytkentätyökaluilla, jotka sijaitsevat ”Connect”-työkalupalkissa. Tämän jälkeen liitettiin vasta johdot kytkentöihin ”Wire Setting”-työkalupalkin ”Insert Default Wire” -toiminnolla. Johdoiksi valittiin LEONIn FLRY-A_BMW-ryhmän johdot, jotka oli luotu tietokantaan. Tähän johtoryhmään oli luotu enemmän väri vaihtoehtoja johtimille sekä laajempi valikoima eri poikkipinta-aloja.

4.3 E³.Formboard-moduuli ja 1:1-johtosarjamallinnus

Kuvassa 9. on projektin alussa mallinnettujen piirikaavioiden pohjalta esitetty moottorinjohtosarja 1:1-mittakaavassa E³.Formboardissa. Johtojen todellisia pituuksia ei BMW:n moottorilasta käyty mittaamassa sen haastavuuden takia, ja johtojen pituuksien dokumentaatiota ei myöskään löytynyt. Liittimet ja moottorinohjainlaite ovat kuitenkin mallinnettu todelliseen kokoon E³.Formbordiin. S54B32-moottorin kuva on tuotu jpeg-tiedostomuodossa lehdelle (kuva 9) ja se on havainnollistamassa moottorin antureiden sijaintia [40].

Mallinnuksessa isossa roolissa olivat DXF-grafiikkatiedostot, joista tietokantaeditorissa mallinnettiin symbolit. Näistä symboleista luotiin editorissa edelleen komponentit, jotka tallennettiin komponenttikirjastoon moottorin johtosarjamallinnusta varten. TE Connectivity Deutchin DTM-sarjan pistokeliitinten, Neutrik XLR kommunikaatioliittimen, rengasliittimien sekä releiden ja relekantojen valmiit DXF-grafiikkatiedostot löytyivät internetistä, komponenttien valmistajien sivuilta [41; 42; 43; 44]. Motec M800 -ohjainlaitteen DXF-grafiikkatiedoston mallinsi Lauri Eho Engineering Ltd Catia V5 -ohjelmistolla. Työhön mallinnettiin Motecin symbolit ja niistä edelleen luotiin komponenttina moottorinohjainlaite. Motec on sijoitettu projektiin laitteena ja se on esitetty kuvassa 8 oikeassa reunassa Formboard-lehdellä. Johtosarjaa varten ohjelmiston tietokantaan jouduttiin luomaan yhteensä 48 uutta komponenttia.



Kuva 9. E³.Formboardilla mallinnettu S54B32-moottorinjohtosarja.

5 Yhteenveto

Tämän insinöörityön tavoitteen oli luoda moottorinjohtosarjan mallinnusohje E³.series-suunnitteluohjelmistolla Metropolia Ammattikorkeakoululle. Lisäksi ohjeeseen mallinnetun johtosarjan tuli tavoitteen mukaan olla mahdollisimman selkeä ja helposti toteutettavissa. Työ aloitettiin ohjelmiston peruskoulutuskurssilla, jonka jälkeen suoritettiin lukuisia mallinnusharjoituksia. Koulutuksesta, koulutusmateriaalista ja harjoituksista opittujen tietojen pohjalta työhön lähdettiin mallintamaan BMW E46 M3:n moottorin johtosarjaa.

Mallinnuksessa tehtyjen kytkentöjen pohjana käytettiin alkuperäisiä kytkentäkaavioita, työn aikana laadittua Excel-tiedostoa sekä opinnäytetyötä, jossa suunniteltiin adapterijohtosarja BMW:hen. Mallinnusprosessi oli erittäin aikaa vievää, mutta lopputuloksena saavutettiin kohtalainen mallinnusohje ohjelmiston toiminallisuuksista johtosarjasuunnittelussa.

Piirikaavioista saatiin mallinnettua selkeät kuvat ja 1:1 -johtosarjamallinnus onnistuttiin toteuttamaan hyvillä liitin- ja ohjainlaitegrafiikoilla. Lisäksi E³.Formboardiin saatiin luotua selkeät taulukkosymbolit liittimille, joissa oli vain tarpeellinen tieto laitteesta ja sen kytkennästä. Taulukkosymbolien kohdalla kuitenkin havaittiin iso puute työn aikana; johtojen pituudet eivät päivittyneet taulukoihin, mikä oli erittäin harmillista. Segmenttien pituudet jouduttiin näin ollen asettamaan manuaalisesti, mikä vei paljon aikaa. Ohjelmiston jälleenmyyjä oli tietoinen asiasta ja viestiä ongelmasta oli laitettu jo eteenpäin. Jos Metropolialle hankitaan uusiin päivitysversio ohjelmistosta, ongelma saattaa olla siinä jo korjattu. Lisäksi johtosarjaa olisi mahdollista jatkojalostaa suunnittelemalla siihen pääsulakeliitännät sekä tutkia sähkömagneettista yhteensopivuutta auton muiden ohjainlaitteiden kanssa. Työn aikana opittiin ohjelmiston ominaisuuksista ja käytöstä erittäin paljon uusia asioita.

Lopuksi haluan kiittää työn ohjaajaa Lauri Ehoa ideasta työhön sekä lehtori Vesa Linja-Ahoa, joka mahdollisti työn toteutumisen.

Lähteet

- 1 CCS Group, E³.cable-koulutusmateriaali 2014. CCS Group.
- 2 Zuken, A History of Innovatio. Verkkodokumentti. Zuken Inc.
<http://www.zuken.com/en/company/corporate/innovation> Luettu 13.4.2015
- 3 Zuken, Customers. Verkkodokumentti. Zuken Inc.
<http://www.zuken.com/en/company/customers>. Luettu 13.4.2015.
- 4 CCS Group. Verkkodokumentti. CCS Group
<http://www.ccsgroup.com/fi/ccs-group>. Luettu 13.4.2015.
- 5 CCS Group, Palvelut/Koulutukset. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/palvelut/koulutukset>. Luettu 13.4.2015.
- 6 CCS Group, Koulutukset. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/palvelut/koulutukset2>. Luettu 13.4.2015.
- 7 CCS Group, E³.series. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series>. Luettu 14.4.2015.
- 8 CCS Group E³.series/toimialaratkaisut. Verkkodokumentti.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/toimialaratkaisut>. Luettu 14.4.2015.
- 9 Zuken, Industry Solutions, Automotive (Passenger Vehicles). Zuken Inc. Verkkodokumentti. <http://www.zuken.com/en/products/electrical-wire-harness-design/e3-series/industries/transportation/automotive>. Luettu 14.4.2015.
- 10 Zuken, Industry Solutions, Automotive (Passenger Vehicles). Zuken Inc.
http://www.zuken.com/~media/Images/Content/industry/01_car-white-background.ashx?mh=527&mw=1192. Luettu 14.4.2015
- 11 CIM-Team, E³.Overview. Verkkodokumentti. CIM-Team.
<http://www.cim-team.com.br/electrical-wiring-design-software/e3-series>.
Luettu 14.4.2015.
- 12 CCS Group, Asiakaskohtaiset toiminnallisuudet. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/palvelut/asiakaskohtaiset-toiminnallisuudet2>. Luettu 14.4.2015.
- 13 CCS Group, E³.Educational. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/e3.educational>. Luettu 14.4.2015.

- 14 CCS Group, E³.Schematic. Verkkodokumentti. CCS Group.
www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/e3.schematic. Luettu 14.4.2015.
- 15 CCS Group, E³.Cable. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/e3.cable>. Luettu 15.4.2015.
- 16 CCS Group, E³.Panel. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/E3.panel>. Luettu 15.4.2015.
- 17 CIM-Team, E³.ViewerFamily. Verkkodokumentti. Zuken Inc.
<http://cdn2.hubspot.net/hub/215943/file-866445155-pdf/Product-sheet/E3-viewer-EN.pdf?t=1429560362872>. Luettu 15.4.2015.
- 18 CIM-Team, E³.Formboard. Verkkodokumentti. CIM-Team.
<http://www.cim-team.com.br/electrical-wiring-design-software/e3-formboard>.
Luettu 15.4.2015.
- 19 CCS Group, E³.Fluid. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/E3.fluid>. Luettu 15.4.2015.
- 20 CCS Group, E³.Logic. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/E3.logic>. Luettu 15.4.2015.
- 21 CCS Group, E³.FunctionalDesign. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://cdn2.hubspot.net/hub/215943/file-859289459-pdf/Product-sheet/E3-Functional-Design.pdf?t=1429560362872>. Luettu 15.4.2015.
- 22 CIM-Team, E³.RoutingBridge. Verkkodokumentti. CIM-Team.
<http://cdn2.hubspot.net/hub/215943/file-866445150-pdf/Product-sheet/E3-3DRoutingBridge-EN.pdf?t=1429560362872>. Luettu 15.4.2015.
- 23 CIM-Team, E³.HarnessFlattening. Verkkodokumentti. CIM-Team.
<http://cdn2.hubspot.net/hub/215943/file-861531783-pdf/Product-sheet/E3-Harness-flattening-EN.pdf?t=1429560362872>. Luettu 15.4.2015.
- 24 CCS Group, E³.Topology. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/e3.topology>. Luettu 15.4.2015.
- 25 CCS Group, E³.eCheck. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/e3.echeck>. Luettu 15.4.2015.
- 26 CCS Group, E³.RevisionManagement. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/e3.revisionmangement>.
Luettu 15.4.2015.

- 27 CIM-Team, List Builder. Verkkodokumentti. CIM-Team.
<http://cdn2.hubspot.net/hub/215943/file-864396366-pdf/Product-sheet/E3-List-builder-En.pdf?t=1429560362872>. Luettu 15.4.2015.
- 28 CCS Group, Standardiliityntä rajapinta. Verkkodokumentti. CCS Group.
<http://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/e3.series/e3-seriesin-standardiliityntaerajapinta>. Luettu 15.4.2015.
- 29 CIM-Team, E³.ZPA. Verkkodokumentti. CIM-Team.
<http://www.cim-team.com.br/electrical-wiring-design-software/erp-integration/e3-zpa#>. Luettu 15.4.2015.
- 30 Juhala Matti, Lehtinen Arto, Suominen Matti & Tammi Kari. 2005. Moottorialan Sähköoppi. Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- 31 Bister, Toni. 2013. Adapterijohtosarjan rakentaminen Motec-moottorinohjainlaitteen asennusta varten. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 16.4.2015.
- 32 Motec, M400, M600, M800, M880 User Manual. Verkkodokumentti.
<http://www.motec.com/m800/m800downloads/>. Luettu 20.4.2015.
- 33 Motec, M800 Features. Verkkodokumentti.
<http://www.motec.com/m800/m800features/>. Luettu 22.4.2015.
- 34 Motec, M800 Overview. Verkkodokumentti.
<http://www.motec.com/m800/m800overview/>. Luettu 22.4.2015.
- 35 Motec, Hundred Series ECUs. Verkkodokumentti.
<http://www.motec.com/aboutecu/ecumodels/>. Luettu 22.4.2015.
- 36 TE Connectivity, DTM Series. Verkkodokumentti.
<http://www.deutsch.net/en/solutions/recreational-vehicle/motorcycle/dtm-series.html>. Luettu 22.4.2015.
- 37 Robert Bosch GmbH. 2014. Bosch Automotive Electrics And Automotive Electronics. 5th edition. Wiley. Springer Vieweg.
- 38 RB-Racing, Wire Covering. Verkkodokumentti.
https://www.rbracing-rsr.com/wiring_ecu.html. Luettu 22.4.2015.
- 39 LEONI, Single-Core Automotive Cables. Verkkodokumentti.
https://d3gx8i893xzz0e.cloudfront.net/fileadmin/automotive_cables/publications/catalogues/single-core_automotive_cables.pdf?1397743864. Luettu 22.4.2015.

- 40 BMW Blog. BMW M3's 3.2-liter Straight Six Engine Comes To An End. Verkkodokumentti. http://cdn.bmwblog.com/wp-content/uploads/thumb1280x1280_3139478474_786acc88b1_o.jpg. Luettu 27.4.2015.
- 41 TE Connectivity. DTM-connectors. Verkkodokumentti. TE Connectivity. <http://www.te.com/catalog/bin/TE.Connect?C=33100&M=FEAT&P=215079&U=&BML=10576,17560,17553&LG=1>. Luettu 20.4.2015.
- 42 Neutrik.NC5MX.Verkkodokumentti.Neutrik. <http://www.neutrik.com/en/xlr/x-series/nc5mx>. Luettu 20.4.2015.
- 43 TE Connectivity. Automotive Relays. Verkkodokumentti. TE Connectivity. <http://www.te.com/catalog/bin/TE.Connect?C=15355&M=FEAT&P=167363&U=&BML=10576,16354,16453&LG=1>. Luettu 20.4.2015.
- 44 TE Connectivity. Relay Sockets and Accessories. Verkkodokumentti. TE Connectivity. <http://www.te.com/catalog/bin/TE.Connect?C=16657&M=FEAT&P=25705,173184&U=&BML=10576,16354,16453&LG=1>. Luettu 20.4.2015.

Moottorinjohtosarjan mallinnusohje E³-ohjelmistolla